

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高操控性自主式水下載具淺海域作業系統之整合技術研究 (III)
子計畫一：自主式水下載具導航及運動控制系統之整合設計 (III)

Integrated Design of Navigation and Control Systems for Autonomous Underwater Vehicles (III)

計畫編號：NSC88-2611-E-002-019

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：郭振華 台灣大學造船及海洋工程學系

一、中文摘要

本研究完成自主式水下載具「海敏一號」的橫向運動近似模式。根據此橫向運動近似模式設計控制器的參數，以控制載具之橫向運動，並使用「海敏一號」作水槽試驗以及海域實驗，以驗證導航控制器之性能。各控制參數對操控性能的影響，從水槽及海域試驗結果來看是一致的，而海域實驗結果顯示，在有洋流的情況下，導航控制器能夠發揮良好的控制效果。

關鍵詞：水下載具、水下導航

Abstract

This report shows that a sliding mode fuzzy controller is quite satisfactory for the control and line of sight tracking performance of an autonomous underwater vehicle developed in this project. The design method of the sliding mode fuzzy controller allows a novice to construct a set of membership functions for a specific linguistic variable by using two parameters instated of numerous parameters. This gives the control method more convenience to deal with system non-linearities and environmental disturbances encountered in the sea water.

Keywords: underwater vehicles, underwater navigation

二、緣由與目的

本計畫研發的自主式水下載具「海敏一號」，其目的在於能夠在海水中做大範圍

表1 無因次橫向流體動力係數

流力係數	無因次因子	無因次量值 (body+fin)	無因次量值 (body)
L	L	1	1
u_o	U/L	1	1
ρ		101.82	101.82
m	$0.5\rho L^3$	0.168	0.0168
m_x	$0.5\rho L^3$	0.023	0.023
m_y	$0.5\rho L^3$	0.086	0.077
x_y	L	0.016	0.004
I_{zz}	$0.5\rho L^5$	0.0113	0.0113
J_{zz}	$0.5\rho L^5$	0.0025	0.00352
Y_v	$0.5\rho L^2 U$	-0.139	-0.096
Y_r	$0.5\rho L^3 U$	0.0467	0.0317
N_v	$0.5\rho L^3 U$	0.0172	-0.0337
N_r	$0.5\rho L^4 U$	-0.0233	-0.025

的巡航搜尋任務。台灣周圍海域有黑潮、大陸沿岸流、表面流等，在強大洋流環境下，自主式水下載具必須有優良的操控性能及穩定性，因此載具控制器的設計需考慮載具系統動態之非線性及洋流干擾之不確定性。

三、結果與討論

1. 橫向運動之系統鑑定

載具之橫向運動線性模式可表示為 [1]：

$$\begin{bmatrix} m + m_y & mx_G + m_y x_y & 0 \\ mx_G + m_y x_y & I_{zz} + J_{zz} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -Y_v & -Y_r + (m + m_x)U & 0 \\ -N_v & -N_r + (mx_G + m_y x_y)U & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\xi}{2} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot T \quad (1)$$

各橫向流體動力係數之數值經鑑定如表一所示[2-4]。

2. 導航控制器設計

當系統有不確定性或干擾時，而且這些不確定性和干擾都是在一個已知的範圍之內，滑動模式控制即可作為此系統的強健性控制方法，讓系統能在一個固定時間內收斂至目標點 [5-9]。根據[10, 11]，收縮式隸屬函數可建構向定位點中心收縮的模糊函數，使系統在定位點有靈敏的控制反應，但是系統在定位點會有震盪現象，震盪的程度則依收縮因子的大小而有所不同。若控制的目的是希望系統狀態能快速地接近定位點，但卻不希望在定位點附近有震盪的現象產生，收縮式隸屬函數無法解決這類問題。本研究乃提議使用膨脹式隸屬函數，建構向定位點中心膨脹的模糊函數，以彌補上述的不足。並以隸屬函數之收縮及膨脹程度為控制器之設計參數。圖 1 為載具之導航控制架構，導航控制器之變數定義如圖 2 所示。

3. 實驗

為了探討在海流環境中，滑動模糊控制器應用在自主式水下載具的性能表現，我們在東經 120 度、北緯 25 度基隆碧沙漁港和基隆嶼之間的海域，進行一系列操控試驗。操控試驗可分為直線路徑追蹤和方形

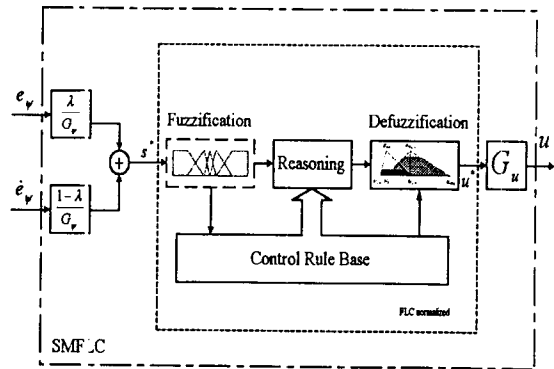


圖 1 導航控制架構

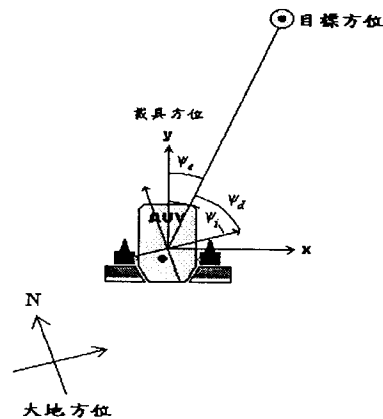


圖 2 航向控制示意圖

路徑追蹤兩個部分。試驗結果如圖 3 至圖 8 所示，可以證明吾人所設計的控制器在有洋流的環境下具有優良的控制性能。(圖中之實心箭號代表載具姿態，空心箭號代表洋流方向，虛線圓圈則為追蹤目標點的可接受範圍，其半徑為 ξ_0)

1. 直線路徑追蹤

此部份試驗主要是針對 ξ_0 及目標點間距，在有洋流的情況下，對路徑追蹤的效果有何影響，以及希望瞭解載具控制的極限為何。

從圖 3 到圖 5 所示，在直線軌跡追蹤的情況下，目標點間距最好在 20m 以上，而 ξ_0 最好在 1.5 m 以上。

2. 方形路徑追蹤

此部份試驗主要是針對模糊隸屬函數控制因子，在有洋流的情況下，對路徑

追蹤的效果之影響。路徑軌跡設為方形，是為了能夠瞭解載具在受到各個方向的洋流情況下之操控性能。

從圖 6 到圖 8 所示，在方形軌跡追蹤的情況下，以收縮之隸屬函數為輸入的效果最佳，而以膨脹之隸屬函數為輸入的效果則不良。

$\xi_0 = 0.70711 \text{ m}, s_s = 0.3, d_u = 0.9, \lambda = 0.5, G_\psi = 15^\circ, G_u = 5 \text{ V}$

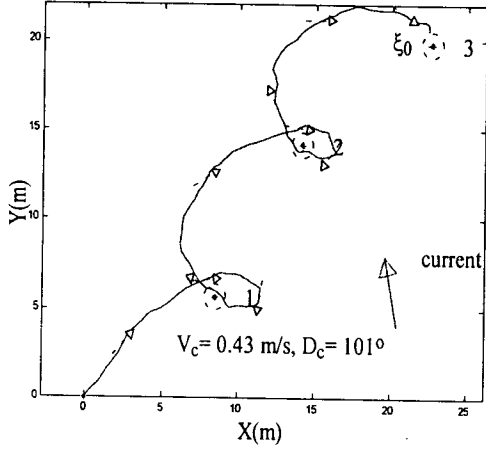


圖 3 直線路徑追蹤 I (追蹤點間距=10 m)

$\xi_0 = 0.94868 \text{ m}, s_s = 0.3, d_u = 0.9, \lambda = 0.5, G_\psi = 15^\circ, G_u = 5 \text{ V}$

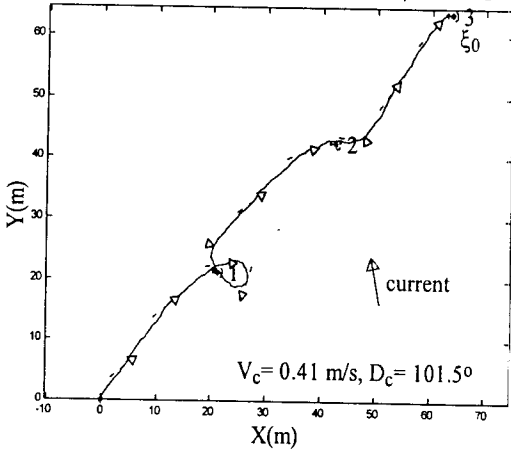


圖 4 直線路徑追蹤 II (追蹤點間距 = 30 m)

$\xi_0 = 1.5811 \text{ m}, s_s = 0.3, d_u = 0.9, \lambda = 0.5, G_\psi = 15^\circ, G_u = 5 \text{ V}$

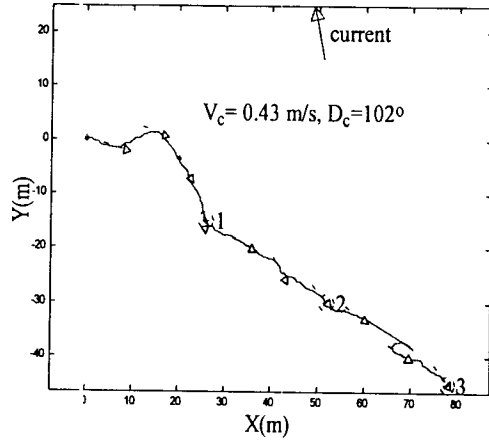


圖 5 直線路徑追蹤 III (追蹤點間距 = 30 m)

$\xi_0 = 5 \text{ m}, s_s = 0.3, d_u = 0.9, \lambda = 0.5, G_\psi = 15^\circ, G_u = 5 \text{ V}$

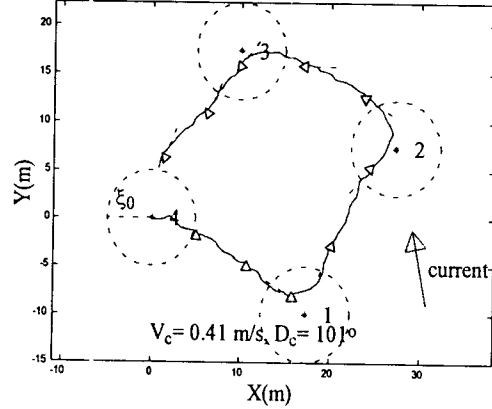


圖 6 方形路徑追蹤 I (追蹤點間距 = 20 m)

$\xi_0 = 5 \text{ m}, s_s = 0.3, d_u = 0.9, \lambda = 0.5, G_\psi = 15^\circ, G_u = 5 \text{ V}$

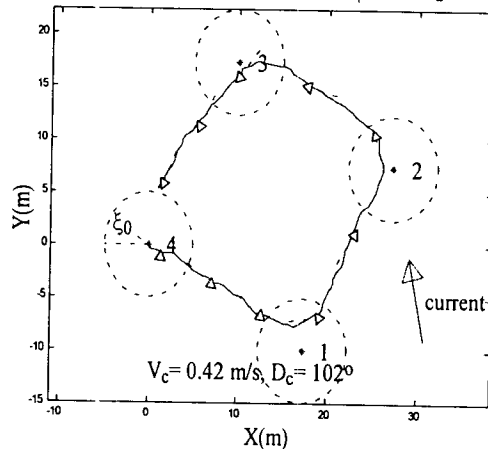


圖 7 方形路徑追蹤 II (追蹤點間距 = 20 m)

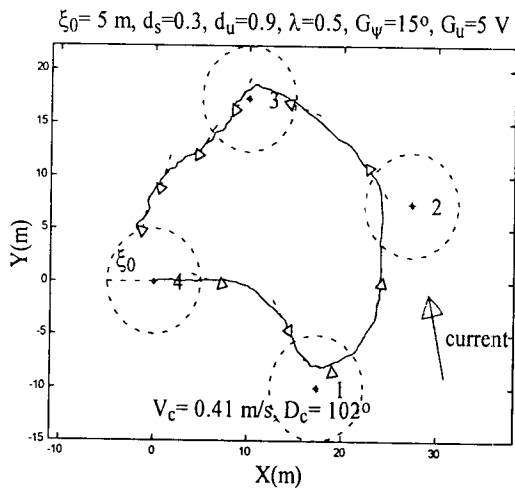


圖 8 方形路徑追蹤 III(追蹤點間距 = 20 m)

本研究的主要貢獻如下：

1. 結合 PMM 流力試驗、迴旋試驗及 Zig-Zag 試驗，建立自主式水下載具「海敏一號」的橫向運動近似模式。
2. 證明吾人所設計的控制器在有洋流的环境下，擁有優良的控制性能。
3. 控制模糊隸屬函數的收縮及膨脹因子能簡化模糊控制器的設計，參數容易調整。在有外界干擾之情況下，控制模糊隸屬函數的收縮及膨脹程度可得到良好的控制效果。

四、參考文獻

- [1] 邱逢琛、王傑智，“無人潛艇動態及控制系統之模擬，”國科會大學生參與專題研究計畫成果報告 NSC83-0115-C002-01-098E，民國八十四年。
- [2] 邱逢琛、郭振華、黃經程，“On the Captive Model Tests for the Maneuverability of an Autonomous Underwater Vehicle,”國科會大學生參與專題研究成果報告 NSC86-2815-C-002-139-E，民國八十七年。
- [3] 邱逢琛、郭振華、黃經程、王治平，“On the Linear Hydrodynamic Forces and the

Maneuverability of an Unmanned Untethered Submersible with Streamlined Body (2nd Report: Lateral Motions),”日本造船協會論文集第 182 號，1997。

[4] 賈景光，“Integrated Navigation System for the Autonomous Underwater Vehicle AUV-HM1,”國立台灣大學造船及海洋工程學研究所碩士論文，民國八十七年。

[5] Lotfi A. Zadeh, “Fuzzy Sets,” *Informat. Control*, 8, p.p. 521-525, 1965.

[6] Rainer Palm, “Robust Control by Fuzzy Sliding Mode,” *Automatica*, Vol. 30., No. 9., 1994, p.p. 1429-1437.

[7] Fotis A. Papoulias and Anthony J. Healey, “Path Control of Surface Ships Using Sliding Modes,” *Journal of Ship research*, Vol. 36, No. 2, June 1992, p.p. 141-153.

[8] Anthony J. Healey and David Lienard, “Multivariable Sliding Mode Control for Autonomous Diving and Steering of Unmanned Underwater Vehicles,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol.18, No.3, 1993.

[9] Sung-Woo Kim and Ju-Jang Lee, “Design of a fuzzy controller with fuzzy sliding surface,” *Fuzzy Sets and Systems*, 71, 1995, p.p. 359-367.

[10] Cheng-Liang Chen and Chung-Tyan Hsieh, “User-Friendly Design Method for Fuzzy Logic Controller,” *IEE Proceedings online no. 19960393*, 1996。

[11] Cheng-Liang Chen, Sheng-Nan Wang, Chung-Tyan Hsieh and Feng-Yuan Chang, “Theoretical Analysis of a Fuzzy-Logic Controller with Unequally Spaced Triangular Membership Functions,” *Fuzzy Sets and Systems*, 101, 1999, p.p. 87-108.